

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**
**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання розрахунково-графічної роботи
з металевих конструкцій

*(для слухачів другої вищої освіти спеціальності
7.06010103 «Міське будівництво та господарство»)*



Харків
ХНАМГ
2012

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з металевих конструкцій (для слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.06010103 «Міське будівництво та господарство») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О. І. Лугченко. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 54 с.

Укладач: О. І. Лугченко

Рецензент: к.т.н., доц. В. А. Мазур

Рекомендовано кафедрою будівельних конструкцій,
протокол № 2 від 21.09.2012 р.

ВСТУП

Початковий етап проектування конструкцій зв'язаний з вибором матеріалів для сталевих конструкцій. При проектуванні сталевих конструкцій необхідно вибрати:

- матеріали для конструкцій – марки сталі;
- тип зварювання і зварювальні матеріали;
- матеріали для болтових з'єднань.

Для кожного матеріалу виписують найменування стандарту, якому він відповідає, і визначають розрахункові характеристики міцності за СНіП II-23-81* в кН/см^2 .

Характеристики міцності використовують в розрахунках, а дані про застосовувані матеріали з вказівкою стандартів, діаметрів болтів і отворів, а також видів зварювання наводять на кресленнях металевих конструкцій.

а) Вибір марок сталі

У курсовому проєкті (роботі) необхідно вибрати марки й категорії сталі (якщо вони зазначені в табл. 50* СНіП II-23-81*) для наступних елементів ферм:

- нижній і верхній пояс;
- опорний розкіс та інші елементи решітки;
- фасонки, опорні ребра, сполучні планки та інші штабові елементи.

При виборі марки сталі для елемента конструкції спочатку треба визначити, до якої групи він відноситься. Згідно із СНіП II-23-81* всі сталеві конструкції розділені на чотири групи. Конструкції об'єднуються в групи залежно від:

- типу конструкцій і ступеня їхньої відповідальності,
- наявності чи відсутності зварених з'єднань,
- виду навантажень (статичні чи динамічні) і характеру роботи елементів (стиснуті, що згинаються і т.д.).

Згідно з табл. 50* СНіП II-23-81* фасонки ферм відносяться до першої групи, стержні – до другого.

КАТЕГОРІЇ СТАЛІ

Вибір категорії сталі, а також вирішення питання про можливість (знак «+» табл. 50*) чи неможливість (знак «-») застосування даної марки сталі здійснюється залежно від кліматичного району будівництва. Для України характерні помірні зимові температури, тому ка-

тегорії сталі (якщо вони зазначені) приймають за першим стовпчиком з температурою зовнішнього повітря вище -40°C .

МАРКА СТАЛІ

Для кожної групи конструкцій і кліматичного району СНіП II-23-81* пропонує набір марок сталей, розташованих у порядку зростання міцності. З цього набору необхідно вибрати конкретну марку. На практиці такий вибір диктується економічними міркуваннями. Чим міцніше сталь, тим конструкція легше, але вище вартість тонни сталі і більше вартість виготовлення. Існує деяке оптимальне співвідношення між міцністю і вартістю сталі, яке можна визначити на підставі реальних преїскурантів на сталь.

У курсовій роботі питання економіки не розглядаються, тому рекомендується застосовувати марки сталі:

для першої групи конструкцій – C255...C375;

для другої групи конструкцій – C245...C345.

б) Розрахункові опори сталі

Основними міцнісними характеристиками сталі є:

R_y – розрахунковий опір за межею текучості.

R_{un} – тимчасовий опір (нормативне).

R_u – розрахунковий опір за тимчасовим опором.

Їх вибирають за табл. 51* СНіП II-23-81* залежно від наступних характеристик:

1) марка сталі;

2) вид прокату:

- фасонний – кутники, швелери, двотаври, таври;

- листовий – для листових елементів: ребер, фасонки та інших пластин, а також для гнutoзварених профілів;

3) товщина прокату.

Листовий прокат має постійну товщину t у всіх перерізах, а товщиною фасонного прокату вважається товщина полиці t_f .

Попередні товщини прокату:

- стержні ферми з фасонного прокату: $t_f = 6...12$ мм;

- стержні ферми з гнutoзварених профілів: $t = 4...10$ мм;

- опорне ребро $t = 10...20$ мм;

- фасонки: товщину приймають залежно від зусиль в елементах решітки (для ферм із парних кутників) чи приблизно рівній товщині стінки тавра для ферм із поясами з таврів. Звичайно $t = 6...14$ мм.

У процесі розрахунку елементів ферми значення товщини визначають більш точно. Для отриманих товщин беруть відповідні їм розрахункові опори з табл. 51* СНіП II-23-81*. Ці розрахункові опори використовують для виконання остаточних перевірок міцності й стійкості.

Крім R_y і R_u у розрахунках конструкцій використовують й інші міцнісні характеристики сталі (табл. 1 СНіП II-23-81*):

- R_s – розрахунковий опір зсуву (зрізу), $R_s = 0,58R_y$;

- R_p – розрахунковий опір зминанню, $R_p = R_u$.

в) Зварювальні матеріали й розрахункові опори для зварених швів

У курсовій роботі необхідно вибрати спосіб зварювання, зварювальні матеріали і визначити міцнісні характеристики кутових швів для прийнятої конструкції ферми.

Матеріали для зварювання приймають залежно від міцності металу конструкцій і способу зварювання. Для конструкцій кроквяних ферм можуть бути застосовані наступні види електрозварювання: ручна дугова; механізована (напівавтоматична).

Ручне зварювання використовується в монтажних з'єднаннях і при виготовленні конструкцій для швів малої довжини. Для ручного зварювання необхідно вибрати тип електродів. Позначення типу електрода складається з букви «Э» (електрод) і числа, що показує тимчасовий опір металу шва (R_{wun}) у кН/см^2 . Наприклад, для електродів Э42 – $R_{wun} = 42 \text{ кН/см}^2$. Літера «А» у позначенні типу (наприклад, Э42А) вказує на підвищену міцність металу шва при дії динамічних навантажень і низьких температур.

Тип електродів вибирають таким чином, щоб тимчасовий опір металу шва був не менш тимчасового опору основного металу зварюваних конструкцій:

$$R_{wun} \geq R_{un} .$$

Типи електродів і їхніх тимчасових опорів наведені у табл. 56 СНіП II-23-81*. Вибір електродів зручніше виконувати за табл. 55* СНіП II-23-81*. Якщо елементи, що з'єднуються зварюванням, мають різну міцність, то електроди вибирають за сталлю з меншою міцністю.

Механізоване зварювання використовують на заводах з виготовлення конструкцій для швів будь-якої довжини. Для захисту дуги при цьому зварюванні найчастіше використовують вуглекислий газ. Для цього способу зварювання вибирають марку зварювального дроту за табл. 55* СНіП II-23-81* по сталі з меншою міцністю.

Для визначення розрахункових опорів швів, з урахуванням наведеного вище, треба прийняти:

- спосіб зварювання;
- для механізованого зварювання – вид захисту зварювальної

дуги;

- тип електрода або марку зварювального дроту з вказівкою стандарту, по якому вони поставляються. При виборі слід враховувати групи конструкцій і кліматичні райони, зазначені в табл. 55* СНіП II-23-81*.

Інформація щодо зварювання вказується на кресленнях КМД (конструкції металеві деталіровочні), вони служать вихідними даними для визначення міцносних характеристик зварювальних швів.

Розрахункові опори кутових швів:

R_{wz} – розрахунковий опір зрізу по металу межі сплавлення. Згідно з табл. 3 СНіП II-23-81* воно приймається залежно від нормативного тимчасового опору найменш міцного з елементів, що з'єднуються:

$$R_{wz} = 0,45R_{um};$$

R_{wf} – розрахунковий опір зрізу по металу шва. Приймають залежно від типу електродів або марки зварювального дроту за табл. 56 СНіП II-23-81*.

Згідно з п. 11.2* СНіП II-23-81* для обраних розрахункових опорів повинна виконуватися умова 1,1

$$R_{wz} \leq R_{wf} \leq R_{wz} \frac{\beta_z}{\beta_f},$$

де β_z, β_f коефіцієнти переходу від катета до ширини зварювального шва, приймають за табл. 34* СНіП II-23-81*; 1,1 – приймається для ручного зварювання при міцності сталі $R_y < 29 \text{ кН/см}^2$.

Якщо ця умова не виконується, то приймають інші типи електродів і марки зварювального дроту.

г) Болтові з'єднання

Для болтових з'єднань необхідно вибрати

- вид болтів,
- клас міцності,
- для звичайних болтів - точність.

Ці характеристики вибирають для з'єднань:

- прогону з ригелем,
- ригеля з колоною.

Для останнього з'єднання визначають також розрахункові опори.

КЛАС МІЦНОСТІ

Вимоги до болтів і умови їхньої застосованості наведені в табл. 57* СНіП II-23-81*. Для конструкцій покриття можна приймати такі види болтів і відповідні їм класи міцності:

- звичайні болти – для всіх з'єднань. Класи міцності – 5.6, 5.8, 6.6;
- високоміцні болти – тільки в з'єднанні ферми з колоною, якщо з розрахунку не проходять звичайні болти. Класи міцності – 8.8, 10.9.

ТОЧНІСТЬ

У з'єднаннях на звичайних болтах використовують болти:

- грубої точності, позначаються «С». Зазор між болтом і отвором складає 3 мм;
- нормальної точності, позначаються «В». Зазор між болтом і отвором складає 2 мм;
- підвищеної точності, позначаються «А». Зазор між болтом і отвором складає 0.5 мм.

Чим вище точність болта, тим прочніше болтове з'єднання, але вище трудомісткість виготовлення і монтажу конструкцій. Для покриття будинку при визначенні точності потрібно керуватися наступним:

- у з'єднанні прогонів з верхнім поясом ферми для полегшення монтажу приймають болти грубої точності;
- у з'єднанні ферми з колоною при відсутності опорного столика можуть використовуватися болти нормальної чи підвищеної точності для збільшення несучої здатності.

За видом болтів, класом міцності й точності визначають розрахункові характеристики міцності для болтових з'єднань.

Розрахункові опори з'єднань на звичайних болтах:

R_{bs} – розрахунковий опір зрізу. Визначається за табл. 58* СНіП II-23-81* в залежності від класу міцності болтів.

R_{bt} – розрахунковий опір розтягання, визначається також за табл. 58*.

R_{bp} – розрахунковий опір зминанню. Визначають за табл. 59* СНіП II-23-81* залежно від тимчасового опору сталі з'єднуваних елементів R_m . Якщо з'єднуються елементи різної міцності, то приймається для кожного з елементів, що з'єднуються.

Для одноболтових з'єднань розрахункові опори наведені в табл. 5 СНіП II-23-81*. Розрахунковий опір високоміцного болта розтягу

$$R_{bh} = 0,7R_{bun},$$

де R_{bun} – тимчасовий опір болта за табл. 61* СНіП II-23-81*.

д) Оформлення розрахункової частини

1. Розрахункову частину оформлюють у вигляді пояснювальної записки. Пояснювальну записку виконують на аркушах формату А4, акуратним і розбірливим почерком.

2. Пояснювальна записка містить:

- титульний аркуш;
- завдання на виконання курсового проекту (роботи);
- зміст;
- вступ;
- розділи розрахункової частини, нумерація і назви розділів і пунктів пояснювальної записки повинні відповідати цим методичним вказівкам;

- список літератури.

3. У вступі описують:

- основні вимоги до конструкції;
- обґрунтування прийнятих конструктивних рішень (порівняння з іншими схемами каркасів);
- склад і зміст розрахункової і графічної частин курсового проекту (коротко).

4. Кожен розділ розрахункової частини пояснювальної записки повинен містити:

- обґрунтування прийнятих методів розрахунку й обраних конструктивних рішень;
- розрахункові схеми й епюри внутрішніх зусиль;
- розрахункові формули і пояснення до використаних у них величин;
- обґрунтування вибору значень усіх величин, використаних у розрахунку;

- посилання на нормативну й технічну літературу;

- результати розрахунку і висновки з розрахунку.

5. При виконанні розрахунку і конструюванні елементів каркаса, необхідно в пояснювальній записці наводити ескізи з нанесенням усіх розмірів, отриманих чи використовуваних в розрахунку. Ескізи допускається виконувати в тексті акуратно від руки.

6. Значення усіх величин, використовуваних у розрахунку або отриманих в результаті розрахунку, необхідно супроводжувати вказівкою одиниць виміру. Величини у формулу звичайно підставляють в

тих самих одиницях вимірів. Слід пам'ятати, що більшість помилок у розрахунках виникає через підстановку у формули значень, що мають різні одиниці вимірів.

7. Усі значення величин, одержувані в результаті розрахунку, треба округляти. Рекомендується дотримувати наступні правила округлення:

- значення напруг округляють до $0,1 \text{ кН/см}^2$;
- значення навантажень і розрахункових зусиль округляють до трьох значущих цифр, незалежно від положення коми, наприклад:
 $5673,29 = 5670$,
 $1,347293 = 1,35$,
 $0,092175 = 0,0922$;
- геометричні характеристики перерізів округляють до чотирьох значущих цифр;
- значення коефіцієнтів, якщо їх розраховують, округляють до двох чи трьох значущих цифр.
- розміри листових елементів, одержувані в результаті розрахунку, положення отворів та ін.:
 - довжину і ширину – округляють до 10 (5) мм у більшу сторону;
 - товщину – до 1...2 мм у більшу сторону; остаточно товщина приймається згідно з сортаментом товстолистової сталі.

е) Графічна частина

Графічну частину виконують на аркушах формату А4. Приклади оформлення графічної частини наводять у відповідних розділах методичних вказівок.

Деталіровочні креслення служать для виготовлення конструкцій, тому на них вказують всі необхідні розміри, які можна розділити на три групи:

- монтажні розміри – розміри конструкцій в осях і за висотою (беруть зі схем розташування елементів), а також прив'язки до цих осей (беруть з креслень вузлів сполучення конструкцій).
- докладні розміри деталей, з яких виготовляється конструкція;
- розміри, що вказують взаємне положення деталей у конструкції.

На деталіровочних кресленнях наводять катети зварних швів, діаметри отворів під болти та їх положення. Катети і діаметри вказують в примітках до креслення або зображають на конструкції. Положення отворів беруть з креслень вузлів сполучення конструкцій.

Специфікація металу складається на відправну марку, що звичайно є половиною ферми. У неї заносять перерізи елементів і їх дов-

жину. Це необхідно для розрахунку маси. Крім того, вказують додаткові операції з виготовлення елементів ферми: свердління, стружка та ін. Розміри специфікації наведені на рис. 1.

На кресленнях КМД наводять таблиці відправних елементів (рис. 2) і заводських зварних швів (рис. 3).

При виконанні креслень треба дотримуватись загальних правил оформлення креслень металевих конструкцій:

Масштаб:

- схеми елементів зображують у масштабі 1:100, 1:150, 1:200, Узли – у масштабі 1:5, 1:10, 1:20.

Головна вимога – ясність зображення, навіть якщо при цьому доводиться порушувати масштаб (особливо при зображенні профілів).

- конструкції на деталіровочних кресленнях зображують у двох масштабах:

- розміри в осях у масштабі 1:20, 1:50.
- поперечний переріз, вертикальні й горизонтальні розміри у вузлах зображують у більшому масштабі 1:10, 1:15, 1:20.

Товщина ліній:

- осеві й розмірні лінії – 0,3...0,4 мм;
- контури елементів – 0,5...0,6 мм;
- елементи, що попадають у розріз, зображують більш товстими лініями 0,7...0,8 мм;
- заводські зварні шви зображуються штрихами (1х1 мм з проміжком 1 мм);
- монтажні шви – хрестиками (1х1 мм з проміжком 1 мм).

Спецификация на отправочный элемент											10
Марка	Поз.	Кол., шт.		Сечение	Длина, мм	Масса, кг			Марка или наименование стали	Примечание	15
		т	н			шт.	общ.	элемент			8
15	10	10	10	30	20	15	15	15	25	20	
185											

Рис. 1 – Специфікація на відправний елемент

Требуется изготовить			
Отпр. марка	Кол., шт.	Масса, кг	
		шт.	общ.
20	20	20	25
85			

Рис. 2 – Таблица відправних елементів

Таблица заводских сварных швов на 1 марку в м				
Отпр. марка	Катет, вид шва			
20	20	20	20	20
100				

Рис. 3 – Таблица заводських зварних швів

КОНСТРУКЦІЇ ПОКРІВЕЛЬ

Покрівлі виробничих будівель складаються з огорожувальних конструкцій та несучих елементів – прогонів, ферм, ліхтарів, на які опираються покрівельні елементи.

Розрізняють два типи покрівель – прогонні й безпрогонні. У першому випадку між кроквяними фермами через 1,5...3м розміщують прогони, на які вкладають малорозмірні покрівельні плити, листи, настили. У другому випадку на кроквяні ферми вкладають великорозмірні плити або панелі шириною 1,5...3м і довжиною 6 або 12м, які од-

ночасно є огороджувальними і несучими конструкціями. Покрівля по прогонах легша, але потребує більших витрат металу, більш трудомістка в монтажі. Безпрогінна покрівля (застосування залізобетонних панелей) забезпечує менші витрати сталі, проста й індустріальна в монтажі. Але вона має суттєвий недолік – велику масу. Вибір конструкцій покрівлі здійснюють, порівнюючи їх техніко-економічні варіанти й враховуючи технологічні й економічні фактори призначення споруди.

Прогінні покрівлі. Для прогонів застосовують прокатні балки, гнуті профілі або легкі наскрізні конструкції (при кроку ферм понад 6м). Прогони вкладають на вузли верхніх поясів кроквяних ферм. Покрівлі бувають теплими (з утеплювачем) і холодними (без утеплювача). Для теплих покрівель широко застосовують сталевий профільований настил, а також малорозмірні керамзитобетонні, армоцементні й азбестоцементні плити, тришарові панелі, які складаються з двох металевих листів і утеплювача між ними. Профільований настил виготовляють з оцинкованої, рулонної сталі товщиною $t = 0,8; 0,9; 1,0$ мм, висотою профілю $H = 40, 60$ та 80 мм, шириною $B = 680, 711$ та 782 мм, довжиною до 12 м. Профільований настил укладають на прогони, розміщені через $3...4$ м. Маса настилу $10...15$ кг/м².

Холодні покрівлі виконують з хвилястих азбестоцементних, сталевих або алюмінієвих листів, які вкладають на прогони з кроком $1,25-1,5$ м. Маса азбестоцементних листів 20 кг/м², сталевих – $15...20$ кг/м².

Безпрогінні покрівлі. У промислових будовах широко застосовують великорозмірні залізобетонні плити різного призначення шириною 3 м і довжиною 6 м та 12 м. Поздовжні ребра плит приварюють до вузлів верхнього поясу ферм не менше, як у трьох кутах. Коли застосовують плити шириною $1,5$ м, доцільно в панелях верхнього поясу ставити додаткові шпренгелі, щоб зберегти вузлову передачу зусилля на ферму.

Основний недолік великорозмірних залізобетонних плит – велика власна маса, що впливає на збільшення маси колон, фундаментів.

Останнім часом застосовують металеві панелі шириною $1,5$ і 3 м і довжиною 6 і 12 м, що призводить до зменшення навантаження від покрівлі. Власна маса таких панелей у чотири-п'ять разів менша, ніж залізобетонних. Проте конструкція покрівлі по прогонах більш економічна за витратами сталі. Металеві панелі мають перевагу, оскільки значна частина робіт з виготовлення покрівель здійснюється на заводах металевих конструкцій. В основі сталевих панелей – каркас, профільований настил, утеплювач, гідроізоляційний шар.

Алюмінієві панелі характеризуються малою масою, корозійною стійкістю, але через високу вартість алюмінію використовуються мало.

КРОКВЯНІ ФЕРМИ

Ферма – це решітчаста наскрізна конструкція, що складається з окремих прямолінійних стержнів, з'єднаних між собою у вузлах, які утворюють геометрично незмінну систему. Навантаження на ферму прикладається здебільшого у вузлах, тому в окремих стержнях виникають тільки поздовжні зусилля стиску або розтягу при роботі ферми на згин. Завдяки цьому метал у фермах використовується раціональніше, ніж у балках, тобто вони легші за масою, економічніші, проте більш трудомісткі у виготовленні.

ВИКОРИСТАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ФЕРМ

Сталеві ферми застосовують у покрівлях промислових і житлових будівель, ангарів, вокзалів, спортивних споруд, ринків, радіо та телевізійних вежах, щоглах різного призначення, опорах ліній електропередач та інших конструкціях. За статичними ознаками розрізняють ферми:

- балкового типу – однопрольотні, багатопрольотні й консольні;
- аркового;
- рамного типу;
- вантові.

Залежно від призначення фермам надають різної конструктивної форми – від легких пруткових конструкцій до важких ферм великих прольотів, плоских і просторових. Найширше застосовують у промислових і житлових будівлях розрізні балкові ферми, найпростіші для виготовлення та монтажу.

Геометрична схема ферми характеризується обрисом поясів і видом решітки.

За обрисами поясів розрізняють кроквяні ферми:

- з паралельними поясами (рис. 4,д);
- трапецієподібні (рис. 4,а);
- трикутні (рис. 4,в);
- сегментні (рис. 4,е).

Ферми з паралельними поясами й трапецієподібні – найбільш прості за конструктивною формою і виготовленням. Ці властивості й визначають їх широке застосування у виробничих та житлових будівлях різного призначення. Незважаючи на високі техніко-економічні

показники, їх застосовують переважно при прольотах 18...42м, оскільки вони мають невелику будівельну висоту порівняно з фермами інших обрисів.

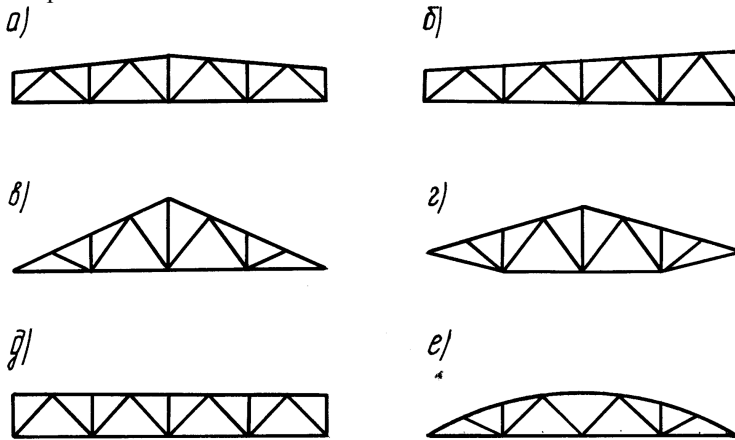


Рис. 4 – Типи кроквяних ферм за обрисом поясів

Ферми трикутного обрису мають найбільшу висоту, застосовують їх при прольотах не більше 36 м. Це зумовлене, в першу чергу, використанням дрібнорозмірних покрівельних матеріалів – плоских і хвилястих азбестоцементних листів, покрівельної сталі різної конфігурації, черепиці, які потребують нахилу покриття в межах $25...45^{\circ}$.

За витратами сталі найбільш економічними є *сегментні ферми*, проте вони, як і трикутні, мають суттєві недоліки: велику трудомісткість, зумовлену різними довжинами решітки та криволінійністю верхнього поясу.

Статична незмінність ферми досягається застосуванням решітки, що утворює систему трикутників. Решітка ферми працює на поперечну силу і виконує функції стінки суцільної балки. Від системи решітки залежать власна маса ферми, трудомісткість її виготовлення та зовнішній вигляд.

Найбільш поширеною є трикутна решітка, оскільки її загальна довжина і кількість вузлів менші, ніж у фермах з іншими типами решіток. Рациональний кут нахилу решітки до нижнього поясу становить $45...50^{\circ}$. Недоліком трикутної решітки є значна довжина панелей поясів, особливо при великих прольотах ферм.

Розкідну решітку використовують найбільш ефективно у невисоких фермах. Особливість такої решітки полягає в тому, що від на-

прямку її до опори є можливість регулювати знаки зусиль. Кути нахилу розкисної решітки до нижнього поясу в межах $35...45^\circ$ є економічнішими і сприятливими для роботи розкосів. У фермах з паралельними поясами і трапецієподібних доцільно проектувати розкоси спадними від опори, тоді вони будуть розтягнуті, а короткі стояки решітки – стисненими. Для ферм трикутного й сегментного обрису, навпаки, в розкосах решітки спадні елементи стиснені, а вихідні розтягнені. Незважаючи на це, при компонуванні решітки ферми часто проектують зі спадними розкосами, щоб зменшити їх довжину.

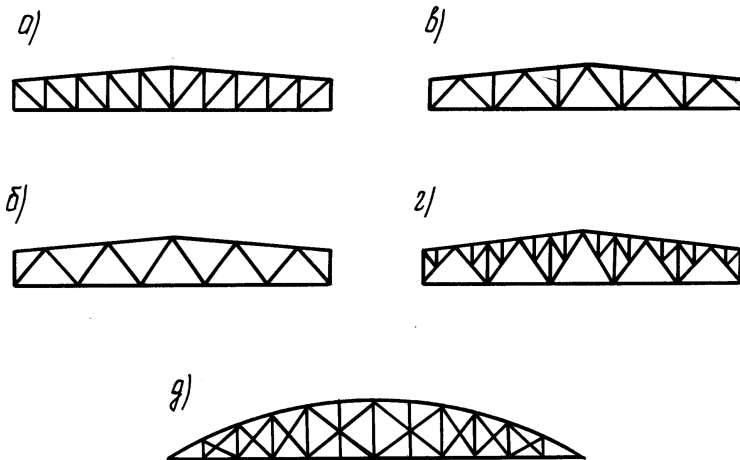


Рис. 5 – Види системи решітки

Хрестова решітка застосовується у фермах, які працюють на знакозмінне навантаження (рис. 5,д). У цьому випадку розкоси решітки працюють тільки на розтяг. При виникненні в одному з розкосів стиску він відключається, працює другий розкіс, в якому діє розтяг. Різновидом трикутної решітки є ромбоподібна решітка, особливість якої – висока жорсткість й міцність під дією великих поперечних сил.

У міжповерхових перекриттях, коли простір між верхнім і нижнім поясами використовується з експлуатаційною метою, застосовують безрозкисні ферми. Недоліком таких ферм є наявність значних згинальних моментів у поясах і стояках, що зумовлює зростання витрат сталі.

При великій висоті ферм і раціональному куті нахилу розкосів ($35...45^\circ$) панелі верхнього поясу ферми мають великі розміри, які невигідні для розміщення прогонів та плит. У таких панелях ферм виникають місцеві згинальні моменти за рахунок позавузлового прикла-

дання навантаження. Довжину панелей верхнього поясу можна зменшити шляхом введення в основну решітку ферми спеціальних шпренгелів, що призводить також до зменшення розрахункової довжини розкосів у площині ферми (рис. 5,г).

Генеральними розмірами ферми є проліт і висота. Проліт кроквяних ферм виробничих будівель, як правило, приймають кратним модулю 6м, тобто 18, 24, 30, 36 та 42м. Для спрощення виготовлення і проектування уніфіковані типові сталеві ферми мають стандартні геометричні схеми для різних прольотів. Довжина панелі верхнього поясу в типових фермах дорівнює 3м.

Оптимальна висота h_{opt} у середині прольоту трапецієподібної ферми визначається з умови мінімальної власної маси і жорсткості (прогину), а також можливості транспортування. Маса ферм мінімальна, коли маси поясів і решітки (з фасонками) рівні між собою, що спостерігається при великих співвідношеннях висоти ферми та прольоту. Така велика висота кроквяних ферм не вигідна через умови транспортування і монтажу, оскільки в цьому разі ферму доводиться перевозити окремими елементами і на місці монтажу виконувати поелементно складання, внаслідок чого зростають витрати часу та вартість.

На практиці висоту ферми в середині прольоту приймають з умови транспортабельності меншою за оптимальну, щоб ферму можна було легко перевозити.

Практично висоту трапецієподібної ферми і ферми з паралельними поясами приймають в межах $\frac{1}{6} \div \frac{1}{12}$ прольоту ферми. Це дає змогу поділити ферму на дві (іноді на три) відправкові марки, які б відповідали вимогам залізничних габаритів (найбільший розмір марки за висотою не повинен перевищувати 3,8м, а за шириною – 3,2 м.) У типових фермах для всіх прольотів від 18 до 36м висота на опорі прийнята для трапецієподібних – 2200 мм, а для ферм з паралельними поясами – 3150 мм.

Висота трикутних ферм зумовлена нахилом покрівлі, під який вона проектується, і становить 1/2–1/4 прольоту.

РОЗРАХУНОК ФЕРМ

Розрахунок балкових ферм виконують у такій послідовності:

- встановлення розрахункової схеми ферми;
- визначення і збір навантаження;
- визначення розрахункових зусиль в елементах ферми;

- підбір поперечних перерізів розтягнутих та стиснутих елементів;
- складання загальної таблиці зусиль, поперечних перерізів і напружень в елементах ферми;
- розрахунок вузлових з'єднань ферми, в тому числі монтажних стиків.

Розрахункова схема ферми має вигляд осьових ліній стержнів, вузлові з'єднання яких умовно шарнірні. З'єднання у вузлах жорстке, проте якщо відношення висоти поперечного перерізу стержня до його довжини $\frac{h}{l} \leq \frac{1}{15}$, додаткові напруження, зумовлені жорсткістю вузла, можна не враховувати.

Навантаження. Кроквяні ферми розраховують на такі види навантажень, які передаються у вигляді зосереджених сил у вузлах ферми:

- постійне навантаження від маси покрівлі й власної маси конструкцій;
- тимчасове навантаження від снігу, вітру й підвісного підйомно-транспортного обладнання.

Більшість цих навантажень рівномірно розподілені, їх підраховують спочатку на один квадратний метр, потім визначають площу навантаження, яка припадає на один вузол, і вже після цього знаходять зосереджену силу, прикладену в кожному вузлі.

Зосереджене навантаження на вузол

$$F_i = \frac{d_1 + d_2}{2} b \frac{q}{\cos \alpha},$$

де d_1, d_2 – довжина панелей верхнього поясу ферми, сумісних з вузлом; b – крок ферми; q – розрахункове рівномірне розподілене навантаження на 1 м^2 ; α – кут нахилу верхнього поясу.

Розрахункове навантаження від маси снігу на 1 м^2 знаходимо за формулою

$$s = \gamma_f s_0 \mu,$$

де γ_f – коефіцієнт надійності завантаження для покрівлі, визначається співвідношенням нормативного постійного навантаження від маси покрівлі з нормативним сніговим навантаженням; s_0 – нормативне значення снігового навантаження, яке залежить від району будівництва (табл. 1, 2 додатка 2 і приймається згідно з будівельними нормами

СНІП 2.01.07-85); μ – перехідний коефіцієнт від навантаження на рівні землі до навантаження на 1 м^2 горизонтальної покрівлі;

При нахилі покрівлі $\alpha \leq 25^\circ$ $\mu = 1$, при $\alpha \geq 60^\circ$ $\mu = 0$, а в інтервалі $25^\circ < \alpha < 60^\circ$ значення μ встановлюється лінійною інтерполяцією.

У цьому випадку треба також приймати і нерівномірне однобічне навантаження ферми снігом, що спричиняє зростання зусиль у середніх розкосах і, що найважливіше, – зміну знака зусилля. При легких покрівлях частка снігового навантаження досягає 60...70 % розрахункового навантаження що треба брати до уваги.

Зосереджене навантаження на вузол ферми від снігу також знаходять, перемножуючи розрахункове снігове навантаження на площу, що стосується даного вузла.

Від вітрового навантаження зусилля в елементах ферми найчастіше мають протилежний знак порівняно із зусиллям від власної маси покрівлі та снігу. У зв'язку з цим вітрове навантаження треба враховувати тільки тоді, коли його значення перевищує навантаження від покрівлі.

Інші навантаження враховують згідно з технологічним завданням, це додаткове навантаження прикладається у вигляді зосереджених сил до вузлів ферми.

Визначення розрахункових зусиль у стержнях

Використання ЕОМ дає змогу розраховувати практично будь-яку схему ферми. ЕОМ при заданому навантаженні визначає розрахункові зусилля у стержнях з урахуванням об'єднання навантажень, а також може підібрати перерізи стержнів.

При відсутності ЕОМ зусилля у стержнях статично визначених ферм доцільно визначати методом вирізання вузлів або графічним методом – побудовою діаграм Максвелла – Кремони, причому для кожного виду навантаження доцільно будувати окрему діаграму.

У фермах з простими схемами, наприклад, з паралельними поясами, а також з невеликою кількістю стержнів простіше використати аналітичний спосіб.

Будуючи діаграми Максвелла – Кремони, для позначення стержнів застосовують цифри і літери. Далі визначають аналітичним способом опорні реакції і будують многокутник сил від зовнішніх, а потім і від внутрішніх навантажень.

На основі визначених зусиль від різних типів навантаження складають загальну таблицю розрахункових зусиль з урахуванням ко-

ефіцієнта поєднання для верхнього та нижнього поясів, а також елементів решітки – стояків і розкосів.

При безпрогонному рішенні покрівлі у верхньому поясі ферм, крім стиску, може виникати місцевий згинальний момент від позавузлового опирання на ферму плит чи прогонів. У даному випадку верхній пояс ферми розглядають як нерозрізну балку на пружноподатливих опорах, якими є вузли ферми. Оскільки розвантажувальний вплив опорних моментів на момент у середині панелі невеликий, то в першій панелі довжиною d_1 момент від місцевого навантаження F_{loc} , прикладеного посередині панелі, можна визначити, як у розрізній балці:

$$M_{1,loc} = \frac{F_{loc} d_1}{4}.$$

В інших панелях розвантажувальний вплив обчислюють введенням коефіцієнта 0,9. З практики відомо, що вигідніше застосовувати додаткові шпренгельні решітки, ніж допускати роботу поясів на місцевий згин.

РОЗРАХУНКОВА ДОВЖИНА І ГРАНИЧНА ГНУЧКІСТЬ СТЕРЖНІВ

Стержні ферм працюють переважно на поздовжні зусилля стиску або розтягу. Для стиснутих стержнів суттєве значення має гнучкість

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{\min}},$$

від якої залежить стійкість при поздовжньому згині. Звідси випливає, що несуча здатність стиснутого стержня також залежить від його розрахункової довжини

$$l_{ef} = \mu \cdot l,$$

де l – геометрична довжина; μ – коефіцієнт, що враховує спосіб закріплення кінців стержня; i_{\min} – мінімальний радіус інерції.

Оскільки наперед невідомо, в якому напрямку вигнеться стержень під час втрати стійкості, необхідно знати розрахункову довжину і стійкість як у площині ферми, так і в напрямку, перпендикулярному до площини ферми, тобто з площини.

Міцність розтягнутих стержнів не залежить від їх довжини, проте занадто довгі й тонкі стержні можуть провисати під власною масою, а також деренчати або коливатись під дією другорядних сил. Ось чому гнучкість розтягнутих елементів ферм також обмежується

нормами, тобто треба знати розрахункову довжину розтягнутих стержнів у площині і з площини ферми.

Розрахункову довжину стержнів плоских ферм відповідно до норм проектування приймають з табл. Сніп, а гнучкість стержнів не повинна перевищувати граничну λ_{\min} .

ТИПИ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ТА ПІДБІР СТЕРЖНІВ ФЕРМ

Стержні ферм працюють в основному на центральний стиск або розтяг, тому їхній поперечний переріз доцільно приймати рівностійким у площинах головних осей.

Для ферм найбільш характерними є перерізи, складені з двох рівнополічкових або нерівнополічкових кутників, швелерів або прямокутних труб. Для більшої стійкості верхнього стиснутого поясу ферм доцільно використовувати нерівнополічкові кутники, встановлюючи ширші полицки в горизонтальній площині.

Поперечний переріз усіх елементів ферм може бути виконаний з поодиноких кутників. Останнім часом у будівництві застосовують легкі ферми, виконані повністю з рівнополічкових поодиноких кутників. У таких ферм витрати сталі такі ж, як і у звичайних фермах, але трудомісткість виготовлення менша за рахунок меншої кількості деталей. Окрім цього, такі ферми мають більш високу корозійну стійкість і тому використовуються у приміщеннях з агресивним середовищем.

Порівняно з новими конструктивними рішеннями ферм з ефективних прокатних, гнутих і гнutoзварних профілів ферми з парних кутників мають більшу масу та трудомісткість виготовлення, тому останнім часом менше застосовуються у практиці. Кутники з розмірами, меншими за 50x4, недоцільно застосовувати, оскільки вони можуть легко погнутися під час перевезення. Найбільш економічними за витратами сталі є ферми з круглих електрозварних труб, проте вони більш трудомісткі у виготовленні, ніж ферми з прямокутних труб і поодиноких кутників.

Стержні ферм з алюмінієвих сплавів виконують аналогічно до сталевих.

Потрібну площу поперечного перерізу розтягнутого елемента визначають відповідно до формули

$$A_{\text{нomp}} = \frac{N}{R_y \gamma_c}.$$

Поперечний переріз розтягнутих елементів підбирають з жорстких профілів, щоб ферма не могла деформуватися під час транспорту-

вання та монтажу, а також, щоб нижній пояс не провисав від власної маси. Тому норми проектування не допускають гнучкості розтягнутих елементів понад 400.

Потрібну площу поперечного перерізу стиснутого елемента визначають згідно з формулою

$$A_{номр} = \frac{N}{R_y \varphi \gamma_c}.$$

Площа поперечного перерізу стиснутого елемента залежить від коефіцієнта поздовжнього згину φ , тому розрахунок стиснутих елементів виконується методом послідовних наближень.

Коефіцієнт поздовжнього згину φ залежить від гнучкості λ :

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i},$$

де l_{ef} – розрахункова довжина; $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ – радіус інерції поперечного перерізу.

За заданою гнучкістю знаходять відповідне значення φ і потрібну площу перерізу.

Попередньо підбираючи пояси легких ферм, приймають $\lambda = 80...60$, а для решітки $\lambda = 120...100$.

Задавшись гнучкістю λ , знаходять потрібний радіус інерції перерізу за формулами

$$i_x = \frac{l_{ef}^x}{\lambda}; \quad i_y = \frac{l_{ef}^y}{\lambda}.$$

Відповідно за потрібними радіусами інерції і площею таблиць сортаменту вибирають розмір профілю. Невідповідність табличних значень i та A потрібним свідчить про неправильне прийняття λ , а звідси і φ . Після цього приймають профіль з проміжним значенням площі та відповідним радіусом інерції. Далі в другому наближенні визначають гнучкість, коефіцієнт φ і перевіряють стійкість.

Стиснуті стержні ферми можуть втратити стійкість як у площині, так і з площини ферми, тому основою для вибору поперечного перерізу профілю є максимальна гнучкість стержня, якій відповідає мінімальний коефіцієнт поздовжнього згину.

Розрахунок вважають закінченим, а поперечний переріз економічно підібраним, якщо міцність – значення напруження в розтягнуто-

му або в стиснутому стержні – не перевищує $\pm 5\%$ розрахункового опору прийнятої сталі для ферми.

КОНСТРУЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЛЕГКИХ ТА СЕРЕДНІХ ФЕРМ

Під час проектування стержні ферм центрують у вузлах на осях, які проходять через центри їх маси з округленням до 5 мм. Осьові лінії стержнів ферм у вузлах повинні сходитися в одній точці, інакше у вузлі виникне додатковий момент

$$M = N \cdot e,$$

який згинатиме стержні, що сходяться у вузлі.

Для зменшення зварних напружень у вузлах ферм з листовими фасонками стержні решітки не доводяться до поясів на відстань $a = 6t = 20$ мм, але не більше 80 мм; t – товщина фасонки. Між торцями з'єднаних елементів поясів ферм залишається відстань не менше 50 мм.

Товщину фасонки усіх вузлів доцільно приймати постійною залежно від розрахункового зусилля в опорному розкосі (додаток 3). Пропонуємо визначати її згідно табл. 1 додатку 3. Зварні шви, які з'єднують окремі стержні решітки з фасонкою у вузлі, розраховують на значення зусилля в даному стержні. Зварні шви, які прикріплюють фасонку до верхнього і нижнього поясів, розраховуються на різницю зусиль у суміжних панелях поясу.

Кроквяні ферми прольотом 18...36 м проектують у вигляді двох відправкових елементів з монтажними стиками в середніх вузлах. Стики доцільно проектувати так, щоб ліва і права півферми були взаємозамінними.

Якщо в стержні решітки діє розрахункове зусилля N , а переріз складається з двох кутників, то на кожний кутник припадає зусилля $N_1 = 0,5 N$.

Це зусилля, як і зусилля у фермах з поодинокими кутниками, повинно сприйматися зварними швами, що з'єднують кутник з фасонкою.

Можливі два варіанти прикріплення кутників до фасонки у вузлах. У першому варіанті прикріплення передбачається тільки фланговими швами з можливим виведенням їх на 20 мм на торець кутника. У другому варіанті для прикріплення застосовуються лобові й флангові шви.

Висоту зварного шва доцільно приймати на 2...3 мм меншою за мінімальну товщину з'єднаних елементів. Довжина зварних швів має бути не менше 40...50 мм.

ФЕРМИ З ПООДИНОКИХ І ПАРНИХ КУТНИКІВ

Порівняно з фермами з парних кутників ферми з поодиноких кутників мають ряд переваг:

- більшу стійкість проти корозії завдяки меншій площі відкритої поверхні, що дає змогу без труднощів виконувати чистку, фарбування та періодичний огляд;
- значно нижчу трудомісткість виготовлення завдяки меншій кількості деталей і маси наплавленого металу зварних швів;
- меншу масу ферми з поодиноких кутників через відсутність прокладок, малі розміри або взагалі відсутність вузлових фасонів.

У фермах із поодиноких кутників вузли проєктують без фасонів. Стержні решітки в даному випадку приварюють з внутрішнього боку до полочки поясного кутника кутовими швами. Доцільно приварювати одним фланговим (по обушку) і лобовим швами.

Якщо для кріплення стержнів решітки до полочки кутника недостатньо місця, то до полочки приварюють планку, яка розширює вузол. У деяких випадках доцільна центрація осей стержнів решітки на грань обушка.

У сучасній практиці будівництва застосовують як жорстке кріплення ферми збоку до колони, так і шарнірне зверху колони чи збоку. У типових рішеннях при спіранні ферм на сталеві або залізобетонні колони зверху застосовують шарнірне з'єднання ферми з колоною.

У цьому рішенні опорна реакція ферми передається на оголовок колони через струганий торець вертикального опорного ребра.

Найбільш відповідальними вузлами ферми є монтажні стикові вузли, які поділяють кроквяну ферму на два окремих відправних елементи – півферми. З умов взаємозамінності півферм ферму поділяють таким чином, щоб кожна відправна марка в монтажному вузлі мала фасонку з двох рівних частин.

У даному разі стики поясів перекривають листовими накладками, кріплення яких розраховують на величину зусилля $1,2N$, де N – зусилля в поясі. Практика свідчить, що стики є завжди слабким місцем конструкції, тому розраховують їх на зусилля, збільшене на 20 %.

Стики поясів можна перекривати кутниковими накладками з обробленими обушками та зрізаними полочками.

Заводські стики поясів є наслідком обмеженої довжини прокатних профілів. Стики доцільно виконувати поза вузлами.

У місцях спірання на ферму ребристих залізобетонних плит при незначній товщині полочок поясних кутників їх посилюють горизонтальними пластинами розміром 100...150 мм.

У стержнях з двох кутників, швелерів сумісна робота елементів забезпечується постановкою між ними з'єднувальних листових планок. За довжиною стиснених стержнів планки розміщують з кроком $< 40i_x$, де i_x – радіус інерції кутника відносно осі $x - x$, а для розтягнутих елементів – з кроком $< 80i_x$. Товщина планок дорівнює товщині основних вузлових фасонки ферм.

КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ЛЕГКИХ ФЕРМ

Під час проектування стержні ферм центрують у вузлах на осях, які проходять через центри їх маси з округленням до 5 мм. Осьові лінії стержнів ферм у вузлах повинні сходитися в одній точці, інакше у вузлі виникне додатковий момент $M = N \cdot e$, який буде згинати стержні, що сходяться у вузлі.

Для зменшення зварних напружень у вузлах ферм з листовими фасонками стержні решітки не доводяться до поясів на відстань $a = 6t$, але не більше 80мм; t – товщина фасонки.

Між торцями з'єднаних елементів поясів ферм залишається відстань не менше 50 мм.

Товщину фасонки усіх вузлів доцільно приймати постійною залежно від розрахункового зусилля в опорному розкосі (додаток 4).

Зварні шви, які з'єднують окремі стержні решітки з фасонкою у вузлі, розраховують на значення зусилля в даному стержні. Зварні шви, які прикріплюють фасонку до верхнього і нижнього поясів, розраховують на різницю зусиль у суміжних панелях поясу.

Кроквяні ферми прольотом 18...36 м проектують у вигляді двох відправкових елементів з монтажними стиками в середніх вузлах. Стики доцільно проектувати так, щоб ліва і права півферми були взаємозамінними.

Якщо в стержні решітки діє розрахункове зусилля N , а переріз складається з двох кутників, то на кожний кутник припадає зусилля $N_1 = 0,5N$. Це зусилля, як і зусилля у фермах з поодинокими кутниками, повинно сприйматися зварними швами, що з'єднують кутник з фасонкою.

Можливі два варіанти прикріплення кутників до фасонки у вузлах. У першому варіанті прикріплення передбачається лише фланговими швами з можливим виведенням їх на 20мм на торець кутника. У другому варіанті для прикріплення застосовують лобові й флангові шви.

У першому випадку шов обушка кутника розраховують на зусилля $N^{об} = (b - z_0)N_1$, а шов пера кутника – на зусилля $N^{пер} = z_0N_1$, де b – висота полиці кутника; z_0 – відстань до центру ваги кутника.

У другому випадку спочатку визначають зусилля, яке сприймається лобовим швом, тобто

$$N^{лоб} = \gamma_c k_f^{лоб} l_w^{лоб} (R_{wf} \gamma_{wf} \beta_{wf}),$$

а решта зусилля

$$N_2 = N_1 - N^{лоб},$$

розподіляється між фланговими швами кутника, як у першому випадку. Висоту зварного шва доцільно приймати на 2...3 мм меншою за мінімальну товщину з'єднуваних елементів. Довжина зварних швів має бути не менше 40...50 мм.

Приклад розрахунку контрольної роботи.

1. Знайти невизначені зусилля в елементах ферми

Дано:

$$\alpha_1 = 51^\circ;$$

$$\alpha_2 = 49^\circ;$$

$$N_1 = 750 \text{ кН};$$

$$N_2 = 940 \text{ кН};$$

$$i = 1:12$$

$$R_y = 24 \text{ кН/см}^2;$$

$$g_{покр}^H = 8,1 \text{ кН/см}^2;$$

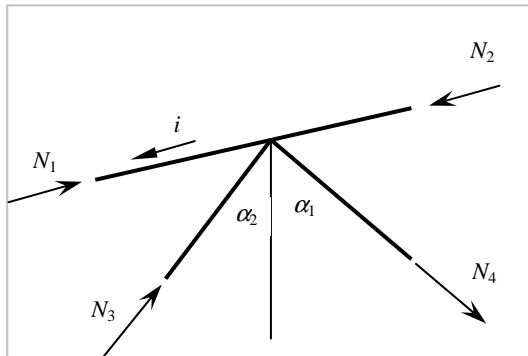
$$B = 6;$$

$$d = 3 \text{ м};$$

$$l_1 = l_2 = 300 \text{ см};$$

$$l_3 = 360 \text{ см};$$

$$l_4 = 360 \text{ см};$$



Визначаємо значення розрахункового вузлового навантаження:

$$N_5 = P_{взл} = g_{покр}^H \gamma_{cp} B d$$

$$\gamma_{cp} = 1,15$$

$$P_{взл} = 8,1 \cdot 1,15 \cdot 3 \cdot 6 = 167,7 \text{ кН}$$

$$\sum x = N_1 \cos \alpha_3 - N_2 \cos \alpha_3 + N_3 \sin \alpha_1 + N_4 \sin \alpha_2 = 0;$$

$$\sum y = -P_{взл} + N_3 \cos \alpha_1 - N_4 \cos \alpha_2 + N_1 \sin \alpha_3 + N_2 \sin \alpha_3 = 0;$$

$$N_3 = (P_{взл} + N_4 \cos \alpha_2 - N_1 \sin \alpha_3 + N_2 \sin \alpha_3) \cos \alpha_1.$$

Ухил верхнього пояса ферми $i = 1:12$.

Звідси:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = 0,083$$

$$\angle \alpha_3 = 4,76^0;$$

$$\cos \alpha_3 = 0,997;$$

$$\sin \alpha_3 = 0,083;$$

$$\angle \alpha_1 = 51^0;$$

$$\cos \alpha_1 = 0,629;$$

$$\sin \alpha_1 = 0,777;$$

$$\angle \alpha_2 = 49^0;$$

$$\cos \alpha_2 = 0,656;$$

$$\sin \alpha_2 = 0,755.$$

$$N_3 = \frac{167,7 + N_4 \cdot 0,656 - 750 \cdot 0,083 + 940 \cdot 0,083}{0,629} =$$

$$= \frac{(183,5 + N_4 \cdot 0,656)}{0,629} = 291,7 + 1,043 \cdot N_4$$

Підставивши N_3 , маємо:

$$N_1 \cdot \cos \alpha_3 - N_2 \cdot \cos \alpha_3 + (291,7 + 1,043 \cdot N_4) \cdot \sin \alpha_1 + N_4 \cdot \sin \alpha_2 = 0;$$

$$750 \cdot 0,997 - 940 \cdot 0,997 + 226,7 + 0,81 \cdot N_4 + 0,775 \cdot N_4 = 0;$$

$$207,7 + 1,565 \cdot N_4 = 0;$$

$$N_4 = -132,72 \text{ кН.}$$

Знак «-» означає, що напрямок дії зусилля N_4 необхідно змінити на протилежний.

$$N_3 = \frac{(183,5 + N_4 \cdot 0,656)}{0,629} = 430 \text{ кН.}$$

2. Підібрати переріз елементів ферми, виготовлених з двох ку-
тників з урахуванням конструктивних особливостей ферми.

Переріз поясів кроквяних ферм підбирають на дію максималь-
них зусиль, що виникають у панелях.

Підбір перерізу верхнього пояса: $N_2 = 940 \text{ кН}$

$$A^{\text{нотр}} = \frac{N_2}{2 \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c},$$

φ – коефіцієнт поздовжнього вигину (додаток 4),

$$N_2 = 940;$$

Користуючись таблицями додатка 3 визначаємо:

$$l_x = l_y = l = 303 \text{ см};$$

$$\gamma_c = 0,95$$

$$\lambda_{np} = 120.$$

Приймаємо $\lambda = 90$ тоді $\varphi = 0,612$;

$$A^{nomp} = \frac{940}{2 \cdot 0,612 \cdot 24 \cdot 0,95} = 33,68 \text{ см}^2$$

$$i_x^{mp} = i_y^{mp} = \frac{l_{(x,y)}}{\lambda} = 303/90 = 3,36 \text{ см.}$$

Приймаємо переріз з двох равнобоких кутників $\perp 160 \times 11$ з $A^\phi = 34,42 \text{ см}^2$ (додаток 5)

$$i_x = 4,95 \text{ см};$$

$$i_y = 6,91 \text{ см};$$

$$z_0 = 4,35 \text{ см.}$$

робимо перевірки

$$\lambda_{\max} = \lambda_x = \frac{303}{4,95} = 62,21 < \lambda_{np} = 120;$$

$$\varphi = 0,795.$$

Виконуємо перевірку міцності прийнятого перерізу верхнього поясу ферми:

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{940}{2 \cdot 0,795 \cdot 34,42} = 17,18 < 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2.$$

Маємо недонапруження прийнятого перерізу верхнього поясу ферми, тому робимо спробу зменшити переріз рівнобічних кутників :

Приймаємо $\perp 140 \times 10$ з $A^\phi = 27,33 \text{ см}^2$ (додаток 5):

$$i_x = 4,33 \text{ см};$$

$$i_y = 6,12 \text{ см};$$

$$z_0 = 3,82 \text{ см.}$$

робимо перевірки

$$\lambda_{\max} = \lambda_x = \frac{303}{4,33} = 70 < \lambda_{np} = 120;$$

$$\varphi = 0,754.$$

Виконуємо перевірку міцності прийнятого перерізу верхнього поясу ферми:

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{940}{2 \cdot 0,754 \cdot 27,33} = 22,807 = 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2.$$

Отже приймаємо переріз верхнього поясу ферми з двох кутників $\angle 140 \times 10$.

Підбор перерізу розкосу N_4 .

Розкіс стиснутий $N_4 = -132,72 \text{ кН}$

Користуючись таблицями Додатка 3 визначаємо:

$$l_x = 0,8 \cdot l_4 = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{ см};$$

$$l_y = l_4 = 360 \text{ см};$$

$$\lambda_{np} = 150;$$

$$\gamma_{cp} = 0,8.$$

$$A^{номп} = \frac{N_2}{2 \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}.$$

Приймаємо $\lambda = 120$, тоді $\varphi = 0,419$;

$$A^{номп} = \frac{132,72}{2 \cdot 0,419 \cdot 24 \cdot 0,8} = 8,25 \text{ см}^2$$

$$i_x^{мп} = \frac{l_{(x)}}{\lambda} = 288/120 = 2,4 \text{ см};$$

$$i_y^{мп} = \frac{l_{(y)}}{\lambda} = 360/120 = 3,0 \text{ см}.$$

Розкоси виконуємо з двох рівнополічних кутників .

Приймаємо кутники $\angle 75 \times 6$ з $A^\phi = 8,78 \text{ см}^2$ (додаток 5):

$$i_x = 2,90 \text{ см};$$

$$i_y = 3,44 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,06 \text{ см}.$$

робимо перевірки

$$\lambda_x = \frac{288}{2,90} = 99 < \lambda_{np} = 150;$$

$$\lambda_{\max} = \lambda_y = \frac{360}{3,44} = 105 < \lambda_{np} = 150;$$

$$\varphi = 0,51.$$

Виконуємо перевірку міцності прийнятого перерізу розкосу ферми:

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{132,72}{2 \cdot 0,51 \cdot 8,78} = 14,82 \approx 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2.$$

Маємо недонапруження прийнятого перерізу розкосу ферми тому робимо спробу зменшити переріз рівнобочних кутників:

Приймаємо $\angle 70 \times 7$ з $A^{\phi} = 9,42 \text{ см}^2$ (додаток 5):

$$i_x = 2,14 \text{ см};$$

$$i_y = 3,29 \text{ см};$$

$$z_0 = 1,99 \text{ см}.$$

робимо перевірки

$$\lambda_{\max} = \lambda_x = \frac{288}{2,14} = 134 < \lambda_{np} = 150;$$

$$\lambda_y = \frac{360}{3,29} = 110 < \lambda_{np} = 150;$$

$$\varphi = 0,342.$$

Виконуємо перевірку міцності:

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{132,72}{2 \cdot 0,342 \cdot 9,42} = 20,6 < 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2.$$

Отже приймаємо переріз стиснутого розкосу N_4 ферми з двох кутників $\angle 70 \times 7$.

Підбір перерізу розкосу N_3 .

Розкіс стиснутий $N_3 = -430 \text{ кН}$

Користуючись таблицями додатка 3 визначаємо:

$$l_x = 0,8 \cdot l_4 = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{ см};$$

$$l_y = l_4 = 360 \text{ см};$$

$$\lambda_{np} = 150;$$

$$\gamma_{cp} = 0,8.$$

$$A^{номр} = \frac{N_2}{2 \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}.$$

Приймаємо $\lambda = 120$, тоді $\varphi = 0,419$;

$$A^{номр} = \frac{430}{2 \cdot 0,419 \cdot 24 \cdot 0,8} = 26,73 \text{ см}^2$$

$$i_x^{mp} = \frac{l_{(x)}}{\lambda} = 288/120 = 2,4 \text{ см};$$

$$i_y^{mp} = \frac{l_{(y)}}{\lambda} = 360/120 = 3,0 \text{ см.}$$

Розкоси виконуємо з двох рівнополочних кутників.

Приймаємо кутки $\perp 100 \times 10$ з $A^\phi = 19,24 \text{ см}^2$ (додаток 5):

$$i_x = 3,05 \text{ см};$$

$$i_y = 4,52 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,83 \text{ см.}$$

робимо перевірки

$$\lambda_{\max} = \lambda_x = \frac{288}{3,05} = 95 < \lambda_{np} = 150 ;$$

$$\lambda_y = \frac{360}{4,52} = 80 < \lambda_{np} = 150 ;$$

$$\varphi = 0,576.$$

Виконуємо перевірку міцності прийнятого перерізу розкосу ферми:

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{430}{2 \cdot 0,576 \cdot 19,24} = 19,4 \approx 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2.$$

Отже приймаємо переріз стиснутого розкосу N_3 ферми з двох кутників $\perp 110 \times 10$.

3. Розрахунок параметрів зварених швів.

Зусилля в розкосі $N_3 = 430 \text{ кН}$ $\perp \perp 110 \times 10$ $z_0 = 2,83 \text{ см}$

Приймаємо:

$$k_f^{oxy} = 1,2 \cdot t;$$

$$k_f^n = 0,8 \cdot t;$$

$$l_w^{ob} = \frac{N \cdot (b - z_0)}{4 \cdot b \cdot \beta_f \cdot k_f^{ob} \cdot \gamma_{wf} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 1;$$

$$l_w^n = \frac{N \cdot z_0}{4 \cdot b \cdot \beta_f \cdot k_f^n \cdot \gamma_{wz} \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} + 1;$$

$$k_f^{обх} = 1,2 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ см};$$

$$k_f^n = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ см};$$

$$l_w^{об} = \frac{430 \cdot (11 - 2,83)}{4 \cdot 11 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 11,56 \text{ см};$$

Приймаємо 12 см.

$$l_w^n = \frac{430 \cdot 2,83}{4 \cdot 11 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 6,54 \text{ см};$$

Приймаємо 7 см.

$$N_4 = 132,72 \text{ кН} \quad \text{Л} \quad 70 \times 7 \quad z_0 = 1,99 \text{ см}.$$

Приймаємо:

$$k_f^{обх} = 1,2 \cdot 0,7 = 0,84 \text{ см};$$

$$k_f^n = 0,8 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ см};$$

$$l_w^{об} = \frac{132,72 \cdot (7 - 1,99)}{4 \cdot 7 \cdot 0,7 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 5,48 \text{ см};$$

Приймаємо 6 см.

$$l_w^n = \frac{132,72 \cdot 1,99}{4 \cdot 7 \cdot 0,7 \cdot 0,56 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 3,67 \text{ см};$$

Приймаємо 4 см.

Зусилля у верхньому поясі:

$$N = \sqrt{(N_2 - N_1)^2 + P^2} = \sqrt{(940 - 750)^2 + 167,7^2} = 254 \text{ кН};$$

$$l_w^n = l_\phi - 1 \text{ см};$$

$$l_w^{об} = l_\phi - 20 \text{ см};$$

$$l_\phi = 52 \text{ см};$$

$$l_w^n = 52 - 1 = 51 \text{ см};$$

$$l_w^{об} = 52 - 20 = 32 \text{ см};$$

$$k_f^{об} = \frac{254 \cdot (14 - 3,82)}{14 \cdot 0,7 \cdot 32 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} = 0,23 \text{ см};$$

$$k_f^n = \frac{254 \cdot 3,82}{14 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} = 0,053$$

Конструктивно приймаємо $k_f^{об} = k_f^n = 0,6 \text{ см}.$

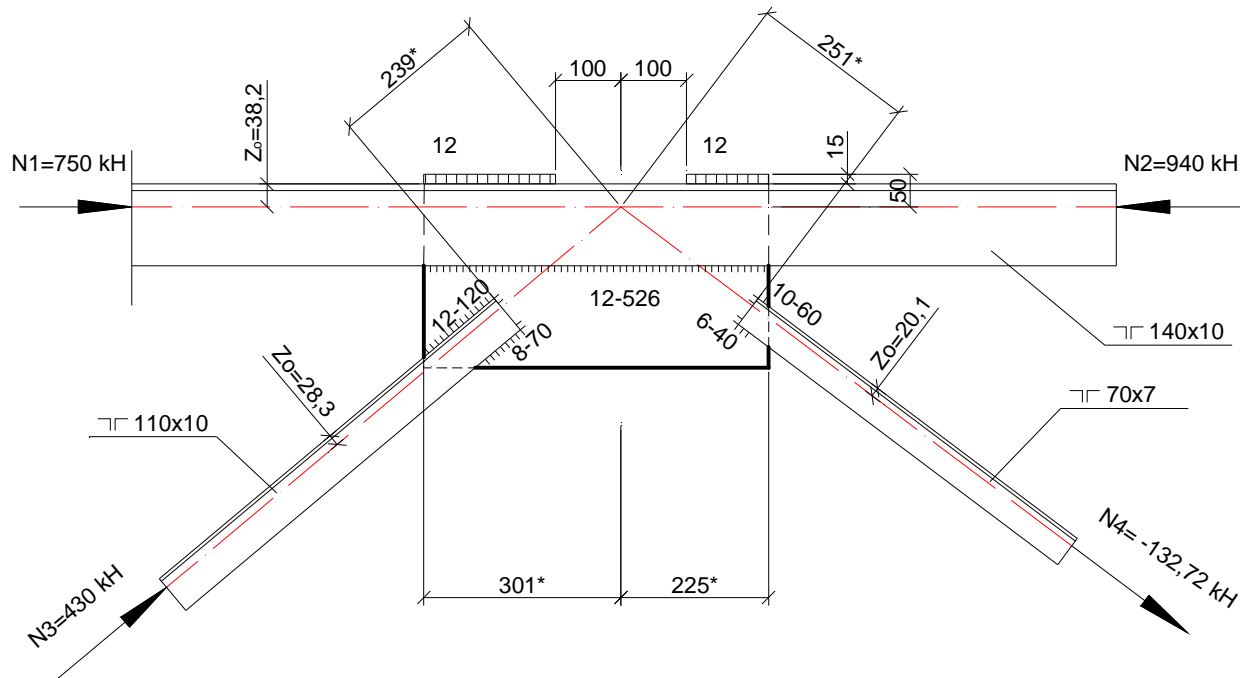


Рис. 6 – Вузол верхнього поясу

2. Знайти невизначені зусилля в елементах ферми

Дано:

$$\alpha_1 = 51^\circ;$$

$$\alpha_2 = 49^\circ;$$

$$N_1 = 690 \text{ кН};$$

$$N_2 = 965 \text{ кН};$$

$$N_5 = P_{\text{вз}} = 167,7 \text{ кН};$$

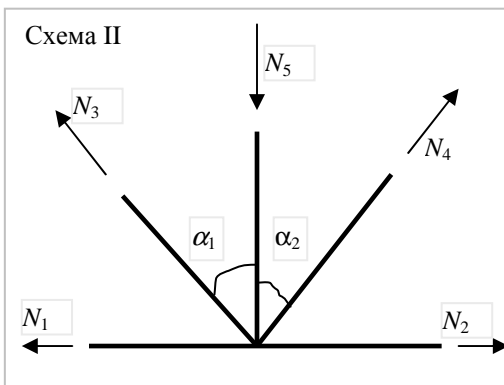
$$R_y = 24 \text{ кН/см}^2;$$

$$l_1 = l_2 = 600 \text{ см};$$

$$l_3 = 360 \text{ см};$$

$$l_4 = 360 \text{ см};$$

$$l_5 = 245 \text{ см}.$$



Знаходимо значення розрахункового вузлового навантаження:

$$\angle \alpha_1 = 51^\circ;$$

$$\cos \alpha_1 = 0,629;$$

$$\sin \alpha_1 = 0,777;$$

$$\angle \alpha_2 = 49^\circ;$$

$$\cos \alpha_2 = 0,656;$$

$$\sin \alpha_2 = 0,755;$$

$$\sum x = N_1 + N_2 - N_3 \sin \alpha_1 + N_4 \sin \alpha_2 = 0;$$

$$\sum y = -N_5 + N_3 \cos \alpha_1 + N_4 \cos \alpha_2 = 0;$$

$$N_3 = \frac{N_5 - N_4 \cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} = \frac{167,7 - 0,656 N_4}{0,629} = 266,6 - 1,043 N_4.$$

Підставивши N_3 , маємо:

$$-690 + 965 - (266,6 - 1,043 N_4) \sin \alpha_1 + N_4 \sin \alpha_2$$

$$67,85 + 1,57 N_4 = 0$$

$$N_4 = -43,34 \text{ кН}$$

$$N_3 = 266,6 - 1,043 \cdot (-43,34) = 311,8 \text{ кН}.$$

2. Підібрати переріз елементів ферми, виготовлених з двох кутників з урахуванням конструктивних особливостей ферми.

Підбір стиснутого розкосу: N_4

$$N_4 = 43,34 \text{ кН};$$

Користуючись таблицями додатка 3 визначаємо:

$$l_x = 0,8 \cdot l_4 = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{ см};$$

$$l_y = l_4 = 360 \text{ см};$$

$$\lambda_{np} = 150;$$

$$\gamma_{cp} = 0,8.$$

Приймаємо $\lambda = 120$, тоді $\varphi = 0,419$;

$$A^{nomp} = \frac{N_4}{2 \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{43,34}{2 \cdot 0,419 \cdot 24 \cdot 0,8} = 2,69 \text{ см}^2$$

$$i_x^{mp} = \frac{l_x}{\lambda} = 288/120 = 2,36 \text{ см};$$

$$i_y^{mp} = \frac{l_y}{\lambda} = 360/120 = 3,0 \text{ см}.$$

Переріз розкосу виконуємо з двох равнополочних кутників.

Приймаємо за конструктивними умовами кутники 63х4 з

$$A^\phi = 4,96 \text{ см}^2 \text{ (додаток 5):}$$

$$i_x = 1,95 \text{ см};$$

$$i_y = 2,93 \text{ см};$$

$$z_0 = 1,69 \text{ см}.$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{288}{1,95} = 147 < 150;$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{360}{2,93} = 123 < 150;$$

$$\varphi = 0,287.$$

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{43,34}{2 \cdot 0,287 \cdot 4,96} = 15,22 \approx 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2.$$

Отже приймаємо переріз стиснутого розкосу N_4 ферми з двох кутників \perp 63х4.

Підбір перерізу розтягнутого розкосу N_3 :

$$\text{Розкіс } N_3 = 311,8 \text{ кН}$$

Користуючись таблицями додатка 3 визначаємо:

$$l_x = 0,8 \cdot l_3 = 0,8 \cdot 380 = 304 \text{ см};$$

$$l_y = l_3 = 380 \text{ см};$$

$$\lambda_{np} = 400;$$

$$\gamma_{cp} = 0,998.$$

$$A^{номр} = \frac{N_3}{2 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{311,8}{2 \cdot 24 \cdot 0,998} = 6,51 \text{ см}^2.$$

Розкос виконуємо з двох рівнополичних кутників .

Приймаємо кутники 70х5 (додаток 5):

$$A^\phi = 6,86 \text{ см}^2$$

$$i_x = 2,16 \text{ см};$$

$$i_y = 3,23 \text{ см};$$

$$z_0 = 1,90 \text{ см}.$$

$$\sigma = \frac{N_3}{2A_n} \leq R_y \gamma_c$$

$$A_n = A_\phi$$

$$\sigma = \frac{311,8}{2 \cdot 6,86} = 22,73 < 24 \cdot 0,998 = 23,95 \text{ кН/см}^2.$$

$$\lambda_x = \frac{304}{2,16} = 141 < 400;$$

$$\lambda_y = \frac{380}{3,23} = 118 < 400.$$

Отже приймаємо переріз розтягнутого розкосу N_3 ферми з двох кутників \perp 70х5.

Підбір перерізу нижнього пояса

Переріз нижнього пояса проектуємо з двох неравнополичних кутників, прикріплених до фасонки меншими полками.

Користуючись таблицями додатка 3 визначаємо:

$$l_x = 600 \text{ см};$$

$$l_y = 1200 \text{ см};$$

$$\gamma_{cp} = 0,998;$$

$$\lambda_{np} = 400.$$

$$N_2 = 965 \text{ кН}.$$

$$A^{номр} = \frac{N_2}{2 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{965}{2 \cdot 24 \cdot 0,998} = 20,04 \text{ см}^2.$$

$$A_{носл} = 2,0 \cdot 1 = 2,0 \text{ см}^2;$$

$$A^\phi = A^{номр} + A_{носл} = 20,04 + 2,0 = 22,04 \text{ см}^2.$$

Приймаємо неравнополичні кутники 140х90х10 (додаток 6):

$$A^\phi = 22,2 \text{ см}^2$$

$$i_x = 4,47 \text{ см};$$

$$i_y = 6,77 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,12 \text{ см}.$$

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{965}{2 \cdot 20,2} = 23,88 < 24 \cdot 0,998 = 23,95 \text{ кН/см}^2;$$

$$\lambda_x = \frac{600}{4,47} = 134 < 400 ;$$

$$\lambda_y = \frac{1200}{6,77} = 177 < 400 .$$

Отже приймаємо переріз розтягнутого нижнього пояса N_2 ферми з двох нерівнобоких кутників $\angle 140 \times 90 \times 10$, з'єднаних один до одного меншими сторонами

Підбір перерізу стійки N_5 :

$$N_5 = P_{y3l} = 167,7 \text{ кН};$$

Користуючись таблицями додатка 3 визначаємо:

$$l_x = 0,8 \cdot l_5 = 196 \text{ см};$$

$$l_y = l_5 = 245 \text{ см};$$

$$\lambda_{np} = 150;$$

$$\gamma_{cp} = 0,8.$$

$$\text{Приймаємо } \lambda = 120 \quad \varphi = 0,419$$

$$A^{nomp} = \frac{167,7}{2 \cdot 0,419 \cdot 24 \cdot 0,8} = 10,68 \text{ см}^2.$$

$$i_x^{nomp} = \frac{196}{120} = 1,63 \text{ см};$$

$$i_y^{nomp} = \frac{245}{120} = 2,04 \text{ см}.$$

Приймаємо кутник 80×6 (додаток 5):

$$A^\phi = 9,38 \text{ см}^2$$

$$i_x = 2,47 \text{ см};$$

$$i_y = 3,65 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,19 \text{ см.}$$

$$\lambda_x = \frac{196}{2,47} = 79,35 < 150;$$

$$\lambda_y = \frac{245}{3,65} = 67 < 150;$$

$$\varphi = 0,69;$$

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{167,7}{2 \cdot 0,69 \cdot 9,38} = 12,96 < 24 \cdot 0,8 = 19,2 \text{ кН/см}^2.$$

Отже приймаємо переріз стиснутого стояка N_5 ферми з двох ку-
тків $\perp 80 \times 6$.

3. Розрахунок параметрів зварених швів.

Зусилля в розкосах $N_3 = 311,8 \text{ кН}$, $\perp \perp 70 \times 5$ $z_0 = 1,90 \text{ см}$

Приймаємо:

$$k_f^{обух} = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ см;}$$

$$k_f^n = 0,8 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ см;}$$

$$l_w^{об} = \frac{311,8 \cdot (7 - 1,9)}{2 \cdot 7 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 14,02 \text{ см;}$$

Приймаємо 14 см.

$$l_w^n = \frac{311,8 \cdot 1,9}{2 \cdot 7 \cdot 0,7 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 9,39 \text{ см;}$$

Приймаємо 9 см.

$N_4 = 43,34 \text{ кН}$, $\perp \perp 63 \times 4$ $z_0 = 1,69 \text{ см}$

Приймаємо:

$$k_f^{обyx} = 1,2 \cdot 0,4 = 0,48 \text{ см};$$

$$k_f^n = 0,8 \cdot 0,4 = 0,32 \text{ см};$$

$$l_w^{об} = \frac{43,34 \cdot (6,3 - 1,69)}{2 \cdot 6,3 \cdot 0,7 \cdot 0,48 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 3,73 \text{ см};$$

Приймаємо 4 см.

$$l_w^n = \frac{43,34 \cdot 1,69}{2 \cdot 6,3 \cdot 0,7 \cdot 0,32 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 2,44 \text{ см};$$

Приймаємо 4 см.

Зусилля на шви кріплення нижнього пояса до фасонки:

$$N_1 = 690 \text{ кН } 140 \times 90 \times 10 \text{ } z_0 = 2,12;$$

$$N_2 = 965 \text{ кН } 140 \times 90 \times 10 \text{ } z_0 = 2,12;$$

$$N = N_2 - N_1 = 965 - 690 = 275 \text{ кН}.$$

Конструктивне кріплення нижнього пояса до фасонки приймаємо по всій її довжині, l_ϕ визначаємо за кресленням.

$$\text{Для нижнього пояса } l_w^n = l_w^{об} = l_\phi - 1 \text{ см};$$

$$l_w^n = l_w^{об} = 48 - 1 = 47 \text{ см};$$

$$k_w^{об} = \frac{275 \cdot (9 - 2,12)}{2 \cdot 9 \cdot 0,7 \cdot 47 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} = 0,177 \text{ см};$$

$$k_w^n = \frac{275 \cdot 2,12}{2 \cdot 9 \cdot 0,7 \cdot 47 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} = 0,03 \text{ см}.$$

Конструктивно приймаємо

$$k_w^{об} = 0,4 \text{ см};$$

$$k_w^n = 0,4 \text{ см}.$$

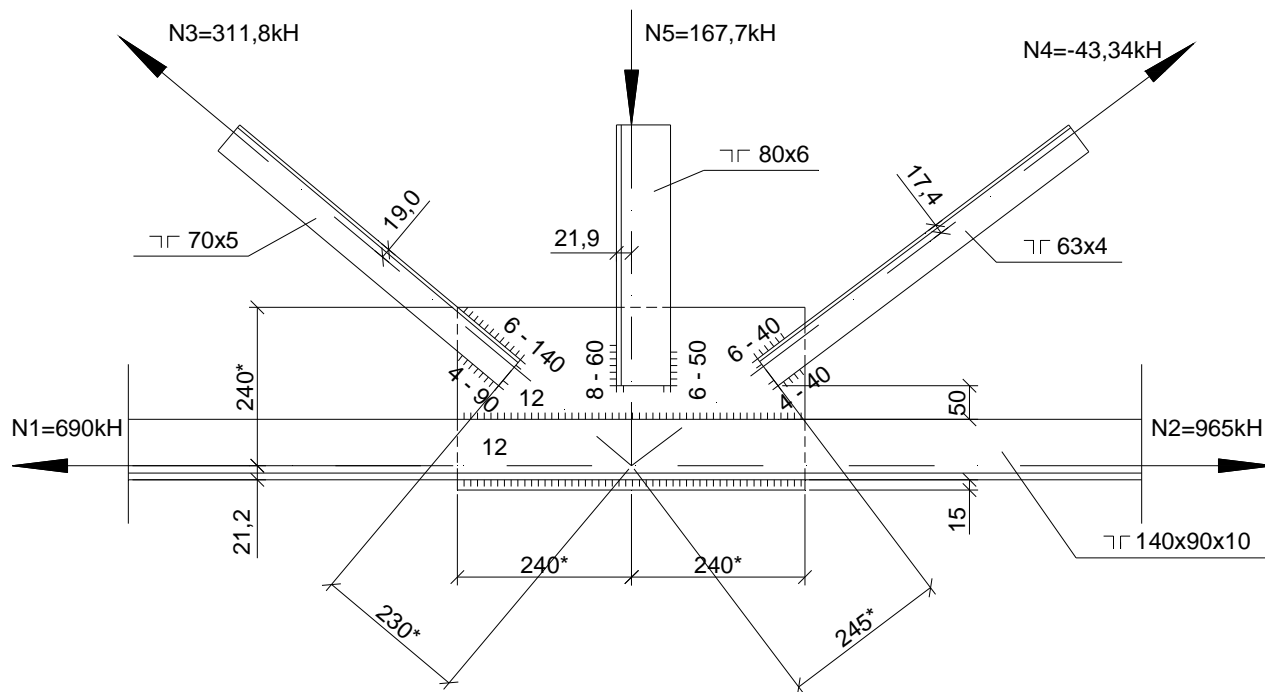


Рис. 7 – Вузол нижнього поясу

3. Знайти невизначені зусилля в елементах ферми

Дано:

$$\alpha = 51^\circ;$$

$$R = 970 \text{ кН};$$

$$R_y = 24 \text{ кН/см}^2$$

$$l_1 = 345 \text{ см};$$

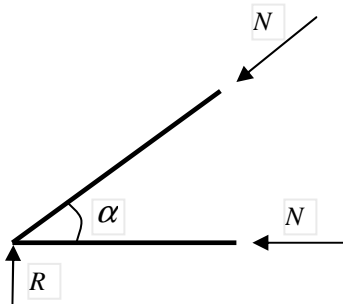
$$l_2 = 600 \text{ см};$$

$$\angle \alpha = 51^\circ;$$

$$\cos \alpha = 0,629;$$

$$\sin \alpha = 0,777.$$

Схема III



$$\sum x = -N_1 \cos \alpha - N_2 = 0;$$

$$\sum y = R - N_1 \sin \alpha = 0;$$

$$N_1 = \frac{R}{\sin \alpha} = \frac{970}{0,777} = 1248 \text{ кН};$$

$$N_2 = -N_1 \cos \alpha = -1248 \cdot 0,629 = -785 \text{ кН}.$$

2. Підібрати переріз елементів ферми.

Підбір перерізу:

$$N_1 = 1248 \text{ кН};$$

Користуючись таблицями додатка 3 визначаємо:

$$l_x = l_y = l_1 = 345 \text{ см};$$

$$\gamma_c = 0,95$$

$$\lambda_{np} = 120.$$

$$\text{Приймаємо } \lambda = 90, \quad \varphi = 0,612.$$

$$A^{nomp} = \frac{1248}{2 \cdot 0,612 \cdot 24 \cdot 0,95} = 44,71 \text{ см}^2$$

$$i_x^{nomp} = i_y^{nomp} = \frac{l_x}{\lambda} = \frac{345}{90} = 3,8 \text{ см}.$$

Приймаємо переріз опорного розкосу N_1 ферми з двох нерівнобічних кутників $\angle 200 \times 125 \times 14$ (додаток 6), з'єднаних один з одним більшими сторонами.

$$A^\phi = 43,9 \text{ см}^2$$

$$i_x = 6,41 \text{ см};$$

$$i_y = 4,92 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,91 \text{ см.}$$

$$\lambda_x = \frac{345}{6,41} = 54 < 150;$$

$$\lambda_y = \frac{345}{4,92} = 79 < 150;$$

$$\varphi = 0,754;$$

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{1248}{2 \cdot 0,754 \cdot 43,9} = 18,85 < 24 \cdot 0,8 = 19,2 \text{ кН/см}^2.$$

Отже приймаємо переріз опорного розкосу N_1 ферми з двох нерівнобічних кутників $\perp 200 \times 125 \times 14$.

Підбір перерізу нижнього пояса.

Проектуємо переріз з двох нерівнополочних кутників, прикріплених до фасонки меншими полками.

Користуючись таблицями додатка 3 визначаємо:

$$I_x = 600 \text{ см}^4;$$

$$I_y = 120 \text{ см}^4;$$

$$\lambda_{np} = 400;$$

$$\gamma_{cp} = 0,998.$$

$$N_2 = 785 \text{ кН.}$$

$$A_n = \frac{N_2}{2 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{785}{2 \cdot 24 \cdot 0,998} = 16,38 \text{ см}^2.$$

$$A_{носл} = 2,0 \cdot 1 = 2,0 \text{ см}^2;$$

$$A^{потр} = A^\phi + A_{носл} = 16,38 + 2,0 = 18,38 \text{ см}^2.$$

Приймаємо кутники нерівнополочні $140 \times 90 \times 8$ (додаток 6).

$$A^\phi = 18 \text{ см}^2$$

$$i_x = 4,49 \text{ см};$$

$$i_y = 6,72 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,03 \text{ см.}$$

$$A_n = A^\phi - A_{носл} = 18 - 2,0 \cdot 0,8 = 16,4 \text{ см}^2;$$

$$A_{носл} = 2,0 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ см}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{2\varphi A} \leq R_y \gamma_c$$

$$\sigma = \frac{785}{2 \cdot 16,4} = 23,88 < 24 \cdot 0,998 = 23,95 \text{ кН/см}^2;$$

$$\lambda_x = \frac{600}{4,49} = 134 < 400;$$

$$\lambda_y = \frac{1200}{6,72} = 177 < 400.$$

Отже приймаємо переріз розтягнутого нижнього пояса N_2 ферми з двох нерівнобочних кутників $\angle 140 \times 90 \times 8$, з'єднаних один з одним меншими сторонами.

3. Розрахунок параметрів зварених швів.

Зусилля в розкосі $N_1 = 1248 \text{ кН}$, $\angle \text{L } 200 \times 125 \times 14$ $z_0 = 2,91 \text{ см}$;

Приймаємо:

$$k_f^{обух} = 1,2 \cdot 1,4 = 1,68 \text{ см};$$

$$k_f^n = 0,8 \cdot 1,4 = 1,12 \text{ см};$$

$$l_w^{об} = \frac{1248 \cdot (20 - 2,91)}{2 \cdot 20 \cdot 0,7 \cdot 1,68 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 26,42 \text{ см};$$

Приймаємо 27 см.

$$l_w^n = \frac{1248 \cdot 2,91}{2 \cdot 20 \cdot 0,7 \cdot 1,12 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 6,95 \text{ см};$$

Приймаємо 7 см.

$N_2 = 785 \text{ кН}$, $\angle \text{L } 140 \times 90 \times 8$ $z_0 = 2,03 \text{ см}$.

Приймаємо:

$$k_f^{обух} = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96 \text{ см};$$

$$k_f^n = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64 \text{ см};$$

$$l_w^{об} = \frac{785 \cdot (9 - 2,03)}{2 \cdot 9 \cdot 0,7 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 20,76 \text{ см};$$

Приймаємо 21 см.

$$l_w^n = \frac{785 \cdot 2,03}{2 \cdot 9 \cdot 0,7 \cdot 0,64 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 1} + 1 = 10,09 \text{ см};$$

Приймаємо 10 см.

43

ЗАВДАННЯ

СХЕМА №1

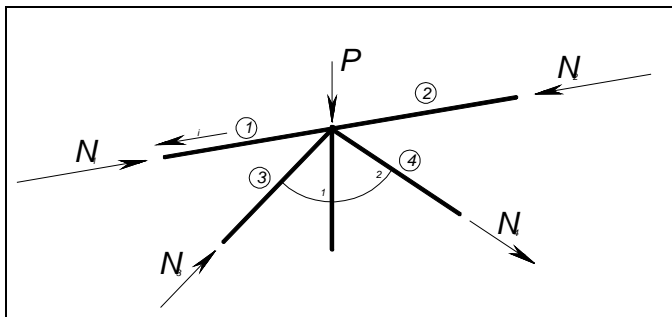


СХЕМА №2

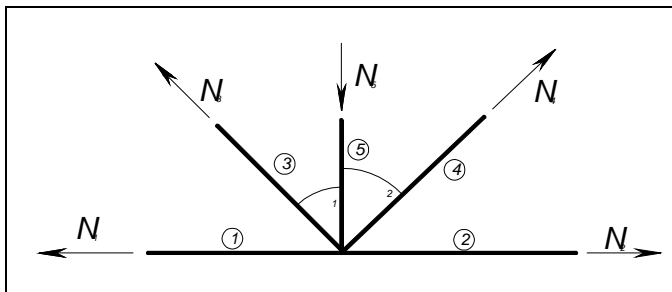
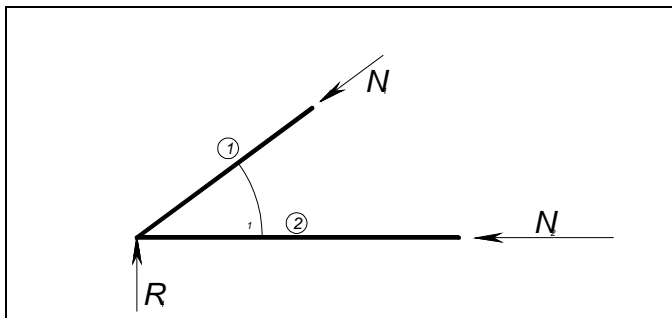


СХЕМА № 3



Таблиця 1

Передостання цифра № залікової книжки	$g_{покp}^n$, кН/м ²	B (м)	d (м)	α_1 градусів	α_2 градусів	Уклон верхнього поясу i , %	Розрахунковий опір сталі R_y , кН/см ²
0	6,9	6	3	52	55	10	24
1	7,2	6	3	50	50	90	24
2	3,8	12	3	50	55	8	26
3	4,0	12	3	53	50	10	26
4	7,0	6	3	48	52	11	27
5	3,9	12	3	50	53	9	27
6	4,2	12	3	45	50	8	24
7	7,1	6	3	45	55	11	24
8	4,3	12	3	48	53	10	26
9	8,1	6	3	49	51	11	27

Довжина елементів:

схема № 1: $l_3 = 3,2$ м, $l_4 = 3,6$ м;

схема № 2: $l_3 = 3,2$ м, $l_5 = 2,5$ м, $l_1 = 6,0$ м, $l_2 = 6,0$ м;

схема №3: $l_1 = 3,8$ м, $l_2 = 6,0$ м.

Таблиця 2

Остання цифра № залікової книжки	Схема №		Схема №		Схема № 3
	N_1 , кН	N_2 , кН	N_1 , кН	N_2 , кН	R , кН
0	620	810	750	900	820
1	755	862	800	960	750
2	750	940	690	965	970
3	670	860	800	950	870
4	805	912	850	910	800
5	770	960	710	985	950
6	750	900	750	940	820
7	800	960	670	860	750
8	690	965	805	912	870
9	800	950	770	960	800

Таблиця 1 – Належність міст України до снігових районів

Сніговий район	
I район	II район
Дніпропетровськ	Вінниця
Донецьк	Житомир
Запоріжжя	Київ
Івано-Франківськ	Полтава
Кіровоград	Сімферополь
Луганськ	Суми
Луцьк	Харків
Львів	Черкаси
Миколаїв	Чернігів
Одеса	
Рівне	
Севастополь	
Тернопіль	
Ужгород	
Херсон	
Хмельницький	
Чернівці	
Ялта	

Таблиця 2 – Нормативне значення ваги снігового покриву P_0 на 1 м^2

Сніговий район	I	II	III	IV	V	VI
$P_0, \text{кН/м}^2$	0,50	0,70	1,0	1,5	2,0	2,5

Призначення товщини фасонки

Зусилля в опорному розкосі (стойкі), Н	До 200	200 до 450	450 до 750	750 до 1150	1150 до 1500
Товщина фасонки, мм	8	10	12	14	16

Гранична гнучкість елементів металевих ферм виготовлених з кутків та з'єднаних за допомогою листових фасонок

Назва елементу	Верхній пояс	Нижній пояс	Стиснутий опорний розкос	Розтягнений опорний розкос	Стиснутий елемент решітки	Розтягнений елемент решітки
λ_{np}	120	400	120	400	150	400

Розрахункові довжини елементів металевих ферм

Назва елементу	Верхній пояс	Нижній пояс	Стиснутий опорний розкос	Розтягнений опорний розкос	Стиснутий елемент решітки	Розтягнений елемент решітки
l_x	l	l	l	l	$0,8l$	$0,8l$
l_y	l	$2l$	l	l	l	l

l – геометрична довжина елементу ферми.

Коефіцієнти умов роботи елементів металевих ферм

Назва елементу	Верхній пояс	Нижній пояс	Стиснутий опорний розкос	Розтягнений опорний розкос	Стиснутий елемент решітки	Розтягнений елемент решітки
γ_c	0,95	0,998	0,95	0,998	0,8	0,998

Додаток 4

Коефіцієнт φ поздовжнього вигину центрально стиснутих елементів
(значення збільшені в 1000 разів)

Для сталі з $R_y = 240$ МПа

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1000	999	999	998	997	995	994	992	990	989
10	987	985	983	980	978	976	973	971	968	965
20	962	960	957	954	951	948	944	941	938	934
30	931	928	924	920	917	913	909	905	902	898
40	894	890	887	882	877	873	869	865	860	856
50	852	847	843	838	833	829	824	819	814	810
60	805	800	795	790	785	780	775	770	764	759
70	754	749	743	738	731	723	715	707	700	692
80	684	677	669	661	654	647	639	632	625	617
90	610	603	596	589	582	575	568	561	554	548
100	541	534	528	521	515	508	502	495	489	483
110	477	471	464	458	452	448	440	435	429	423

Для сталі з $R_y = 280$ МПа

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1000	999	999	998	996	995	993	991	990	987
10	985	983	981	978	976	973	970	967	965	962
20	959	955	952	949	945	942	938	935	931	928
30	924	920	916	912	908	904	900	896	891	887
40	883	878	874	869	865	860	855	851	846	841
50	836	831	826	821	816	811	806	800	795	790
60	784	779	774	768	763	757	751	746	739	731
70	722	714	705	697	689	680	672	664	656	648
80	640	632	624	616	608	601	593	585	578	570
90	563	555	548	541	534	526	519	512	505	498
100	491	484	478	471	464	458	451	444	438	432
110	425	418	413	406	400	394	388	382	376	370

Додаток 5

Сталь прокатна кутова рівнобока (вибірка з ГОСТ 8509-57)

Розміри кутків, мм		R, мм	Площа перерізу $A_y, \text{мм}^2$	Вага 1 пог.м, кг	Відстань центру важкості Z_0 , см	Ось x-x		Ось x_I	Ось x_0-x_0		Ось y_0-y_0		Радіуси інерції i_{y2} для двох кутків при δ мм			
b	d					I_x , см	i_x , см	I_{xI} , см	I_{x0} , см	i_{x0} , см	I_{y0} , см	i_{y0} , см	$\delta=8$	$\delta=10$	$\delta=12$	$\delta=14$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
45	4		3,48	2,73	1,26	6,63	1,38	12,1	10,5	1,74	2,74	0,89	2,16	2,24	2,32	2,40
	5		4,29	3,37	1,30	8,03	1,37	15,3	12,7	1,72	3,33	0,88	2,18	2,26	2,34	2,42
50	4		3,89	3,05	1,38	9,21	1,54	16,6	14,6	1,94	3,80	0,99	2,35	2,43	2,51	2,59
	5		4,80	3,77	1,42	11,2	1,53	20,9	17,8	1,92	4,63	0,98	2,38	2,45	2,53	2,61
56	4		4,38	3,44	1,52	13,1	1,73	23,3	20,8	2,18	5,41	1,11	2,58	2,66	2,73	2,81
	5		5,41	4,25	1,57	16,0	1,72	29,2	25,4	2,16	6,59	1,10	2,61	2,72	2,77	2,85
63	4		4,96	3,90	1,69	18,9	1,95	33,1	29,9	2,45	7,81	1,25	2,86	2,93	3,01	3,09
	5		6,13	4,81	1,74	23,1	1,94	41,5	36,6	2,44	9,52	1,25	2,89	2,96	3,04	3,12
	6		7,23	5,72	1,78	27,1	1,93	50,0	42,9	2,43	11,2	1,24	2,90	2,99	3,06	3,14
70	4,5		6,20	4,87	1,88	29,0	2,16	51,0	46,0	2,72	12,0	1,39	3,14	3,21	3,29	3,37
	5		6,86	5,38	1,90	31,9	2,16	56,7	50,7	2,72	13,2	1,39	3,16	3,23	3,30	3,38
	6		8,15	6,39	1,94	37,6	2,15	68,4	59,6	2,71	15,5	1,38	3,18	3,25	3,33	3,40
	7		9,42	7,39	1,99	43,0	2,14	80,1	68,2	2,69	17,8	1,37	3,20	3,28	3,36	3,44
	8		10,7	8,37	2,02	48,2	2,13	91,9	76,4	2,68	20,0	1,37	3,22	3,29	3,37	3,45

Продовження додатку 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
75	5		7,39	5,80	2,02	39,5	2,31	69,6	62,6	2,91	16,4	1,49	3,35	3,42	3,49	3,57
	6		8,78	6,89	2,06	46,6	2,30	83,9	73,9	2,90	19,3	1,48	3,30	3,44	3,52	3,60
	7		10,1	7,96	2,10	53,3	2,29	98,3	84,6	2,89	22,1	1,48	3,40	3,47	3,54	3,62
	8		11,5	9,02	2,15	59,8	2,28	113,0	94,9	2,87	24,8	1,47	3,43	3,50	3,57	3,65
	9		12,8	10,1	2,18	66,1	2,27	127	105	2,86	27,5	1,46	3,44	3,51	3,59	3,67
80	5,5		8,63	6,78	2,17	52,7	2,47	93,2	83,6	3,11	21,8	1,59	3,57	3,64	3,71	3,79
	6		9,38	7,36	2,19	57,0	2,47	102	90,4	3,11	23,5	1,58	3,58	3,65	3,72	3,80
	7		10,8	8,51	2,23	65,3	2,45	119	104	3,09	27,0	1,58	3,60	3,67	3,75	3,82
	8		12,3	9,65	2,27	73,4	2,44	137	116	3,08	30,3	1,57	3,62	3,69	3,77	3,84
90	6		10,6	8,33	2,43	82,1	2,78	145	130	3,50	34,0	1,79	3,96	4,04	4,11	4,19
	7		12,3	9,64	2,47	94,3	2,77	169	150	3,49	38,9	1,78	3,99	4,06	4,13	4,21
	8		13,9	10,9	2,51	106	2,76	194	168	3,48	43,8	1,77	4,01	4,08	4,16	4,23
	9		15,6	12,2	2,55	111,8	2,75	219	186	3,46	48,6	1,77	4,04	4,11	4,19	4,25
100	6,5		12,8	10,1	2,68	122	3,09	214	193	3,88	50,7	1,99	4,36	4,43	4,50	4,57
	7		13,8	10,8	2,71	131	3,08	231	207	3,88	54,2	1,98	4,38	4,45	4,52	4,59
	8		15,6	12,2	2,75	147	3,07	265	233	3,87	60,9	1,98	4,40	4,47	4,54	4,62
	10		19,2	15,1	2,83	179	3,05	333	284	3,84	74,1	1,96	4,44	4,52	4,59	4,66
	12		22,8	17,9	2,91	209	3,03	402	331	3,81	86,9	1,95	4,48	4,56	4,63	4,71
	14		26,3	20,6	2,99	237	3,00	472	375	3,78	99,3	1,94	4,53	4,60	4,68	4,76
	16		29,7	23,3	3,06	264	2,98	542	416	3,74	112	1,94	4,57	4,64	4,72	4,80
110	7		15,2	11,9	2,96	176	3,40	308	279	4,29	72,7	2,19	4,76	4,85	4,92	5,00
	8		17,2	13,5	3,00	198	3,39	353	315	4,28	81,8	2,18	4,80	4,87	4,95	5,02

Продовження додатку 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
125	8		19,7	15,5	3,36	294	3,87	516	467	4,87	122	2,49	5,30	5,46	5,53	5,60
	9		22,0	17,3	3,40	327	3,86	582	520	4,86	135	2,48	5,41	5,48	5,56	5,63
	10		24,3	19,1	3,45	360	3,85	649	571	4,84	149	2,47	5,44	5,52	5,58	5,66
	12		28,9	22,7	3,53	422	3,82	782	670	4,82	174	2,46	5,48	5,55	5,62	5,70
	14		33,4	26,2	3,61	482	3,80	916	764	4,78	200	2,45	5,52	5,60	5,67	5,75
	16		37,8	29,6	3,68	539	3,78	1051	853	4,75	224	2,44	5,56	5,63	5,72	5,78
140	9		24,7	19,4	3,78	466	4,34	818	739	5,47	192	2,79	6,02	6,10	6,16	6,24
	10		27,3	21,5	3,82	512	4,33	911	814	5,46	211	2,78	6,05	6,12	6,19	6,26
	12		32,5	25,5	3,90	602	4,31	1097	957	5,43	248	2,76	6,08	6,15	6,25	6,30
160	10		31,4	24,7	4,30	774	4,96	1356	1229	6,25	319	3,19	6,84	6,91	6,97	7,05
	11		34,4	27,0	4,35	844	4,95	1494	1341	6,24	348	3,18	6,86	6,93	7,00	7,07
	12		37,4	29,4	4,39	913	4,94	1633	1450	6,23	376	3,17	6,88	6,95	7,02	7,09
	14		43,3	34,0	4,47	1046	4,92	1911	1662	6,20	431	3,16	6,91	6,98	7,05	7,13
	16		49,1	38,5	4,55	1175	4,89	2191	1866	6,17	485	3,14	6,95	7,03	7,10	7,18
	18		54,8	43,0	4,63	1299	4,87	2472	2061	6,13	537	3,13	7,00	7,07	7,14	7,22
	20		60,4	47,4	4,70	1419	4,85	2756	2248	6,10	589	3,12	7,04	7,11	7,18	7,26
180	11		38,8	30,5	4,85	1216	5,60	2128	1933	7,06	500	3,59	7,67	7,74	7,81	7,82
	12		42,2	33,1	4,89	1317	5,59	2324	2093	7,04	540	3,58	7,69	7,76	7,83	7,84
200	12		47,1	37,0	5,37	1823	6,22	3182	2896	7,84	749	3,99	8,48	8,55	8,62	8,69
	13		50,9	39,9	5,42	1961	6,21	3452	3116	7,83	805	3,98	8,50	8,58	8,64	8,71
	14		54,6	42,8	5,46	2097	6,20	3722	3333	7,81	861	3,97	8,52	8,60	8,66	8,73
	16		62,0	48,7	5,54	2363	6,17	4264	3755	7,78	970	3,96	8,56	8,64	8,70	8,77
	20		76,5	60,1	5,70	2871	6,12	5355	4560	7,72	1182	3,93	8,65	8,72	8,79	8,86
	25		94,3	74,0	5,89	3466	6,06	6733	5494	7,63	1438	3,91	8,74	8,81	8,88	8,95
	30		111,5	87,6	6,07	4020	6,00	8130	6351	7,55	1688	3,89	8,83	8,90	8,97	9,05

Продовження додатку 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
220	14		60,4	47,4	5,93	2814	6,83	4941	4470	8,60	1159	4,38	9,31	9,37	9,45	9,52
	16		68,6	53,8	6,02	3175	6,81	5661	5045	8,58	1306	4,36	9,35	9,42	9,49	9,56
250	16		78,4	61,5	6,75	4717	7,76	8286	7492	9,78	1942	4,98	10,55	10,62	10,68	10,75
	18		87,7	68,9	6,83	5247	7,73	9342	8337	9,75	2158	4,96	10,5	10,65	10,72	10,80
	20		97,0	76,1	6,91	5765	7,71	10401	9160	9,72	2370	4,94	10,6	10,69	10,76	10,83

Додаток 6

Сталь прокатна кутова нерівнобока (вибірка з ГОСТ 8509-57)

Розміри кутків, мм			Площа перерізу A_y , м ²	Вага 1 пог.м, кг	Відстань центру важкості, см		Ось x-x		Ось y-y		Радіуси інерції i_{y2} для двох кутків з'єднаних					
											меншими полками при δ мм			більшими полками при δ мм		
B	e	t			y_o , см	x_o , см	I_x , см	i_x , см	I_y , см	I_y , см	$\delta=10$	$\delta=12$	$\delta=14$	$\delta=10$	$\delta=12$	$\delta=14$
100	63	6	9,59	7,53	3,23	1,42	98,3	3,2	30,6	1,79	2,62	2,7	2,77	4,92	4,99	5,07
		7	11,1	8,7	3,28	1,46	113	3,19	35	1,78	2,64	2,72	2,78	4,95	5,02	5,1
110	70	8	13,9	10,9	3,61	1,64	172	3,51	54,6	1,98	2,92	2,99	3,07	5,41	5,49	5,56
125	80	8	16,0	12,5	4,05	1,84	256	4,0	83	2,28	3,27	3,34	3,91	6,06	6,13	6,21
		10	19,7	15,5	4,14	1,92	312	3,98	100	2,26	3,31	3,37	3,46	6,11	6,19	6,27
140	90	8	18,0	14,1	4,49	2,03	364	4,49	120	2,58	3,61	3,69	3,76	6,72	6,79	6,86
		10	22,2	17,5	4,58	2,12	444	4,47	146	2,56	3,67	3,74	3,82	6,77	6,84	6,92
160	100	9	22,9	18,0	5,19	2,23	606	5,15	186	2,85	3,95	4,02	4,09	7,67	7,75	7,82
		10	25,3	19,8	5,23	2,28	667	5,13	204	2,84	3,97	4,04	4,12	7,69	7,77	7,84
		12	30,0	23,6	5,32	2,36	784	5,11	239	2,82	4,02	4,09	4,16	7,74	7,82	7,9
180	110	10	28,3	22,2	5,88	2,44	952	5,8	276	3,12	4,29	4,36	4,43	8,62	8,7	8,77
		12	33,7	26,4	5,97	2,52	1123	5,77	324	3,1	4,33	4,4	4,47	8,67	8,75	8,82
200	125	11	34,9	27,4	6,5	2,79	1449	6,45	446	3,58	4,86	4,93	5,0	9,51	9,59	9,66
		12	37,9	29,7	6,54	2,83	1568	6,43	482	3,57	4,88	4,95	5,02	9,54	9,62	9,68

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання розрахунково-графічної роботи
з металевих конструкцій**

*(для слухачів другої вищої освіти спеціальності
7.06010103 «Міське будівництво та господарство»)*

Укладач **ЛУГЧЕНКО** Олена Іванівна

Відповідальний за випуск *В. С. Шмуклер*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2012, поз. 8М

Підп. до друку 17.10.2012	Формат 60×84/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 3,1
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.